

# Hochfrequente Übertragungen von räumlich getrennten Informationsquellen zu einem zentralen Empfangsort

Schönfeld, Wilhelm Hans  
Wäßerling, Hans Georg

Veröffentlicht in:  
Abhandlungen der Braunschweigischen  
Wissenschaftlichen Gesellschaft Band 12, 1960,  
S.124-134



Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig

# Hochfrequente Übertragungen von räumlich getrennten Informationsquellen zu einem zentralen Empfangsort

Von Wilhelm Hans Schönfeld und Hans Georg Wäberling

Eingereicht am 27. 5. 1960

*Summary: This paper describes a wireless system by which a number of informations may be transmitted simultaneously between various points and a central receiving-station, using not more than 2 carrier-frequencies.*

*The equipment uses the time-division-multiplex-system. Therefore an accurate timing of the various transmission-channels is required. Synchronizing-systems suitable for this purpose are described and their possible combinations with the various kinds of puls-modulation are discussed.*

Übersicht: Es wird ein drahtloses Verfahren beschrieben, mit dem eine Anzahl von Nachrichten von verschiedenen, räumlich einander entfernten Punkten gleichzeitig und unter Benutzung höchstens zweier Trägerfrequenzen zu einer zentralen Empfangsstelle übertragen werden können. Die Anlage arbeitet nach dem Zeitmultiplex-Prinzip und erfordert daher eine genaue zeitliche Einordnung der einzelnen Übertragungskanäle. Hierfür geeignete Synchronisier-Verfahren werden beschrieben und ihre Kombination mit den möglichen Pulsmodulations-Arten wird diskutiert.

## 1. Einleitung

In den letzten Jahren ist eine ständig wachsende Anzahl von Industrie- und Versorgungsunternehmen bestrebt, Betriebsabläufe von zentraler Stelle aus zu überwachen, meßtechnisch zu erfassen und ggf. zu steuern. Ähnliche Aufgabenstellungen ergeben sich auch bei geophysikalischen Bodenuntersuchungen und in der Lagerstättenforschung. Hier bedient man sich mit Erfolg seismischer Meßverfahren, bei denen durch Explosionen ausgelöste seismische Impulse, von den verschiedenen Erdschichten gebeugt oder reflektiert, wieder an die Oberfläche gelangen, wo sie von Empfängern, die über ein Gebiet von mehreren Quadratkilometern verteilt sind, aufgenommen werden. Die Registrierung und Auswertung der Meßergebnisse an einem Ort ist aus Gründen, die im Meßverfahren liegen, zweckmäßig.

Den genannten Aufgabenstellungen könnten noch weitere hinzugefügt werden. Allen ist gemeinsam, daß Informationen oder Nachrichten von verschiedenen, räumlich entfernten Punkten zu einem Ort (oder umgekehrt) übertragen werden müssen. In fast allen Fällen werden hierfür drahtgebundene elektrische Übertragungssysteme verwendet. Solche Systeme sind aber meist nur in ortsfesten Anlagen wirtschaftlich und auch dann nur, wenn Bau- und Wartungskosten für das erforderliche Leitungsnetz in einem vernünftigen Verhältnis zu den übrigen Kosten des Übertragungssystems stehen. Für die oben als Beispiel genannten seismischen Untersuchungsverfahren wird die Unzweckmäßigkeit drahtgebundener Systeme besonders augenfällig, wenn man be-

denkt, daß für die nur wenige Sekunden dauernde Messung ein Leitungsnetz von u. U. mehreren Kilometern Länge ausgelegt werden muß. Es gibt also eine Reihe von Anwendungszwecken, in denen drahtlose Übertragungsanlagen den drahtgebundenen überlegen sind. Diese Aussage setzt voraus, daß beide Systeme vergleichbare Übertragungseigenschaften haben, was in speziellen Fällen eine sorgfältige Auswahl des benutzten drahtlosen Übertragungsverfahrens bedingt.

Bei der einfachsten Anordnung zur drahtlosen Übertragung werden die durch einen Wandler in elektrische Signale umgeformten Nachrichten zur Modulation eines am Übertragungsort befindlichen Hochfrequenzsenders benutzt. Jedem dieser Sender ist eine eigene Frequenz zugeteilt, die von jeweils einem geeigneten Empfänger am gewünschten zentralen Beobachtungsort aufgenommen wird. An den Ausgängen dieser Empfänger stehen Signale, die den Nachrichten der einzelnen Orte entsprechen, zur Verfügung. Sie lassen sich nach den Erfordernissen der Aufgabenstellung weiter verarbeiten.

Dieses Verfahren der drahtlosen Übertragung hat aber einen offensichtlichen Mangel: Es erfordert für jeden Übertragungsort eine eigene Trägerfrequenz. Bei dem herrschenden Mangel an Frequenzen, haben nur solche Systeme Aussicht auf behördliche Zulassung, die insgesamt mit ein oder zwei verschiedenen Trägerfrequenzen auskommen.

Es ist daher für die vorliegende Aufgabenstellung nach einem Übertragungsverfahren zu suchen, das gestattet, gleichzeitig Nachrichten von verschiedenen, räumlich entfernten Punkten unter Verwendung möglichst nur einer Trägerfrequenz zu übermitteln. Dabei sind für ein solches System Übertragungseigenschaften anzustreben, die denen einer Leitung hinsichtlich Frequenz- und Phasengang, Dynamik und Störabstand vergleichbar sind.

## 2. Drahtlose Übertragungssysteme

2.1 Drahtlose Mehrfach-Übertragungsanlagen (Multiplex-Systeme) sind seit längerer Zeit bekannt und werden in großer Anzahl mit Erfolg betrieben. Als Beispiel seien die Richtfunkstrecken der Post genannt, die die gleichzeitige Übermittlung einiger hundert Ferngespräche gestatten.

Die Multiplexsysteme lassen sich nach der Art der Mehrfachausnutzung in zwei Gruppen einteilen: In Frequenz- und Zeitmultiplexanlagen. Beim Frequenzmultiplex werden die zur Übertragung der einzelnen Nachrichten erforderlichen Frequenzbänder so in andere Frequenzbereiche transponiert, daß sie sich zu einem neuen Frequenzband aneinanderreihen lassen, mit dem dann der Hochfrequenzsender moduliert werden kann. Voraussetzung für die Anwendung des Frequenzmultiplex-Systems ist wegen der geschilderten Frequenztransponierung, daß sämtliche zu übertragenden Nachrichten an einem Ort zusammengefaßt werden können. Diese Bedingung läuft aber der vorliegenden Aufgabenstellung zuwider.

Beim Zeitmultiplex-Verfahren werden der Nachricht nach Ablauf gleicher Zeitabstände, der Taktdauer  $T_0$ , Proben entnommen (Abb. 1), die unmittelbar oder nach Umformung zur Modulation eines HF-Senders

dienen. Zur Übertragung der höchsten in der Nachricht vorkommenden Frequenz  $f_0$  ist nach Shannon (Lit. 1) eine Taktfrequenz  $F_0 = \frac{1}{T_0} \geq 2f_0$  erforderlich. Die pulsförmigen Proben mehrerer Nachrichten lassen sich zeitlich ohne gegenseitige Störung ineinander schachteln, wenn die Abtastung aller Nachrichten mit gleicher Taktfrequenz erfolgt. (Abb. 2).

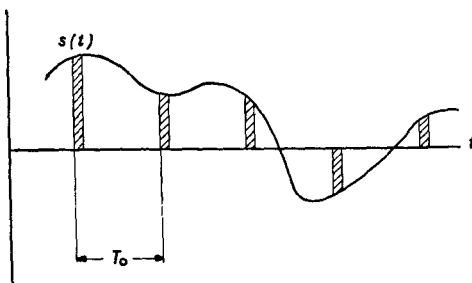


Abb. 1. Das Abtasten einer Nachricht

Dieses Verfahren bietet also eine Lösungsmöglichkeit der vorliegenden Aufgabenstellung: Die jeder Nachrichtenquelle zugeordneten Sender übertragen nacheinander die ihrer Nachricht pro Takt entnommene Probe als modulierten hochfrequenten Puls. Da jeweils nur ein Sender arbeitet, kann für alle dieselbe Frequenz verwendet werden.

2.2 Soll ein Zeitmultiplex-System  $n$  Übertragungswege oder „Kanäle“ enthalten, so müssen die Abtast-Zeitpunkte der einzelnen Nachrichtenquellen gegeneinander um  $\frac{T_0}{n}$  zeitlich versetzt sein. Diese notwendige zeitliche Einordnung der Kanäle macht die Übertragung von Synchronsignalen an alle  $n$  Abtasteinrichtungen erforderlich. Dabei ist grundsätzlich die Ausstrahlung des Synchronsignals auf der Frequenz möglich, auf der die anderen Sender des Übertragungssystems arbeiten, wenn zur Synchronisation Pulse mit der Folgefrequenz  $F_0$  verwendet und diese wie die Pulse eines zusätz-

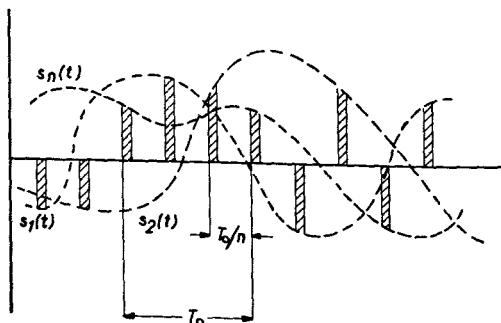


Abb. 2. Schema der Mehrfachübertragung bei Zeitmultiplex-Verfahren

lichen Übertragungskanal zwischen den übrigen eingeordnet werden. Sollen dagegen pulsförmige Synchrosignale anderer Frequenz, besonders der  $n$ -fachen Taktfrequenz verwendet werden, oder ist das Synchrosignal kontinuierlich, z. B. sinusförmig, so muß es auf einer zusätzlichen, zweiten Trägerfrequenz übermittelt werden. Den prinzipiellen Aufbau einer Übertragungsanlage nach dem Zeitmultiplex-System zeigt Abb. 3.

Die Einrichtungen, die an den einzelnen Sendeorten den richtigen Abtastpunkt aus dem Synchronsignal ableiten, lassen sich nach verschiedenen Gesichtspunkten einteilen: Nach der Art des Synchronsignals (sinus- oder pulsformig) und nach seiner Frequenz. Weiter ist zwischen ortsfesten und beweglichen Übertragungsanlagen zu unterscheiden. Bei den letzteren ist es wünschenswert, Einrichtungen zur zeitlichen Einordnung zu benutzen, die sich auf alle Übertragungskanäle einstellen lassen und die außerdem einen einstellbaren Ausgleich der Laufzeit infolge unterschiedlicher Entfernung zwischen Sende- und Empfangsort ermöglichen.

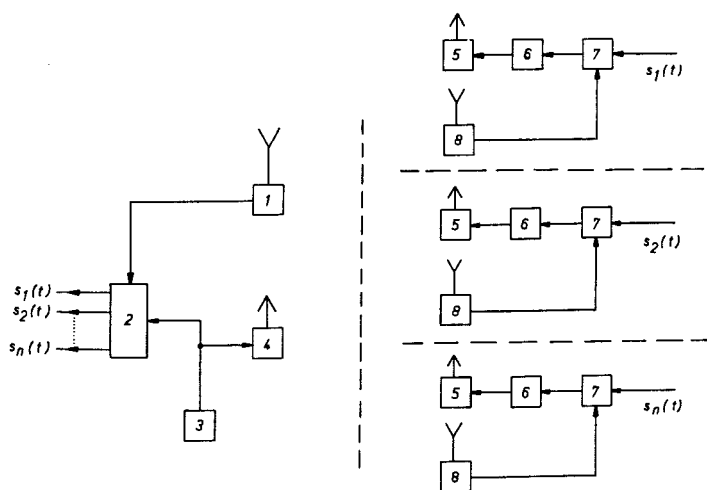


Abb. 3. Aufbau einer Zeitmultiplex-Übertragungsanlage, bestehend aus zentraler Empfangsstelle mit (1) Nachrichten-Empfänger, (2) Pulsverteiler und -demodulator, (3) Taktfrequenzgenerator, (4) Synchronsignal-Sender und den Einrichtungen am Übertragungsort (5) Nachrichten-Sender, (6) Modulationswandler, (7) Pulsmodulator und Verzögerungseinrichtung, (8) Synchronsignal-Empfänger

### 2.3 Wird zur zeitlichen Einordnung der Kanäle dauernd ein sinusförmiges

Signal der Frequenz  $F_0 = \frac{1}{T_0}$  den einzelnen Übertragungsorten übermittelt, so kann im einfachsten Falle der Abtastpuls durch Kippschaltungen immer an einer bestimmten Stelle der Periode des Synchronsignals, etwa an einem Nulldurchgang der Spannung, erzeugt werden. Zur richtigen Kanaleinordnung ist jedoch vorher erforderlich, das Synchronsignal an jedem Übertragungsort um einen für den betreffenden Kanal charakteristischen Phasenwinkel zu drehen und zwar für den Kanal  $k$  um den

Winkel  $\varphi_{(k)} = k \frac{2\pi}{n}$ . Diese Phasendrehung ist durch kontinuierlich einstellbare Phasenschieber oder durch Laufzeitketten leicht zu erreichen. Von Vorteil ist bei dieser Möglichkeit zur Kanaleinordnung der außerordentlich geringe Aufwand. Dem steht als Nachteil gegenüber, daß Störungen, die dem Synchronsignal überlagert sind, den Abtastzeitpunkt verfälschen können. Dadurch wird bei Anwendung von Pulsdauer- oder Pulsphasenmodulation der Störabstand erheblich verschlechtert. Dieser Nachteil ist dadurch zu umgehen, daß an jedem Übertragungsort ein sinusförmiges Signal von der Frequenz  $F_0$  in einem eigenen Oszillator erzeugt und wie oben beschrieben zur Kanaleinordnung benutzt wird. Die Frequenz dieses Oszillators wird in einer Phasenbrücke mit dem empfangenen Synchronsignal verglichen. Am Ausgang der Brücke entsteht eine dem Phasenwinkel zwischen beiden Signalen proportionale Spannung, die zur Nachregelung des Oszillators dient (Lit. 2). Durch die Wahl einer niedrigen oberen Grenzfrequenz im Regelkreis läßt sich eine Beeinflussung des Oszillators durch Störungen, die dem Synchronsignal überlagert sind, vermeiden.

- 2.4 Bei den eben beschriebenen Verfahren wird der Abtastpuls aus dem Synchronsignal an jedem Übertragungsort erzeugt. Es liegt daher der Gedanke nahe, gleich ein pulsförmiges Synchronsignal mit der Frequenz  $F_0$  auszusenden. Dieses Signal kann, nachdem es zur Kanaleinordnung um eine für den betreffenden Kanal charakteristische Zeit verzögert ist, direkt als Abtastpuls verwendet werden.

Zur Verzögerung eignen sich neben Laufzeitketten besonders monostabile Kippschaltungen (Lit. 2), mit denen sich kontinuierlich einstellbare Zeiten bis etwa  $0,9 T_0$  erreichen lassen. Allerdings sind die Verzögerungszeiten von den Betriebsspannungen des Gerätes abhängig, so daß besonders bei mobilen Anlagen mit schwankenden Versorgungsspannungen (Batterien) Maßnahmen zur Stabilisierung erforderlich werden. Dagegen sind Laufzeitketten außerordentlich stabile Verzögerungseinrichtungen, deren Eigenschaften nur von ihren Bauelementen (Induktivitäten und Kapazitäten) bestimmt werden (Lit. 3). Da sich bei der durch den Pulsbetrieb bedingten Bandbreite pro Glied einer solchen Kette nur Verzögerungszeiten von einigen Mikrosekunden erreichen lassen, beschränkt sich ihre Anwendung auf Anlagen mit Taktfrequenzen von etwa 10 kHz an aufwärts.

- 2.5 Eine weitere Möglichkeit der Kanaleinordnung ist durch ein pulsförmiges Synchronsignal gegeben, das mit der Frequenz  $n \cdot F_0$  ausgesendet wird und bei dem jeder  $n$ -te Puls durch seine Amplitude, Breite oder als Doppelpuls von den anderen unterscheidbar ist. Dieser gekennzeichnete Puls läßt sich an den Übertragungsorten zum Start eines Zählers benutzen, der von allen eintreffenden Synchronpulsen gesteuert wird und für jeden Kanal besonders voreingestellt ist. Im Kanal  $k$  zum Beispiel öffnet der Zähler nach  $k-1$  Pulsen eine Torschaltung, die den  $k$ -ten Puls zur Abtasteinrichtung durchläßt. Dieser Puls selbst schließt wieder die Torschaltung und stellt den Zähler in die Ausgangsstellung zurück. Bei dieser Synchronisationsart wird der Abtastzeitpunkt und damit die Kanaleinordnung aller Geräte von einer zentralen Stelle aus bestimmt. Damit entfallen alle Zeitfehler für den

Abtastpuls, die von instabilen Versorgungsspannungen und Temperatureinflüssen in den Geräten an den einzelnen Übertragungsorten verursacht werden können. Besonders vorteilhaft für mobile Anlagen ist außerdem die Möglichkeit, die durch unterschiedliche Entfernungen zwischen den einzelnen Übertragungsorten und der zentralen Empfangsstelle bedingten Laufzeiten von einer Stelle aus auszugleichen. Dies läßt sich dadurch erreichen, daß innerhalb der Taktdauer  $T_0$  die Synchronisierungspulse nicht in gleichen Zeitabständen  $\frac{T_0}{n}$  aufeinander folgen. Ist beispielsweise die doppelte

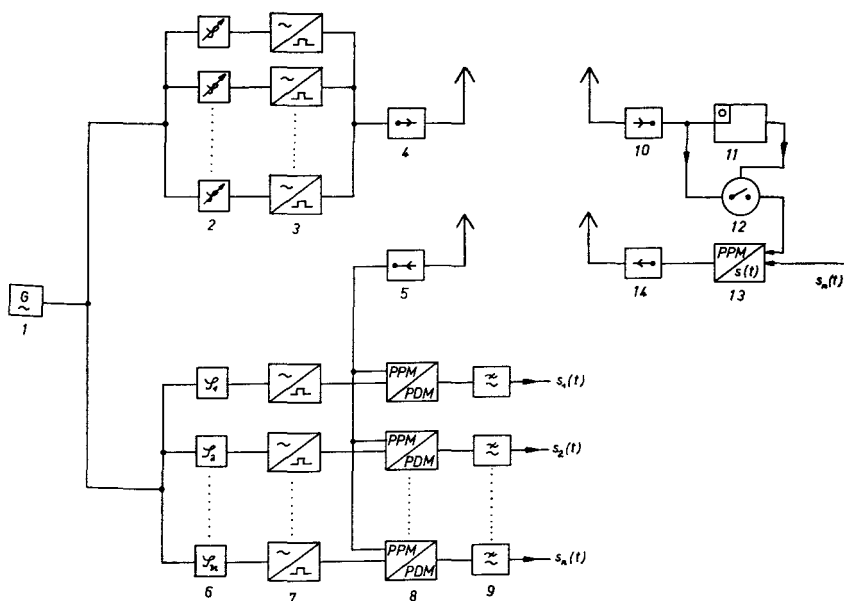


Abb. 4. Blockschaltbild einer Übertragungsanlage: (1) Generator für Taktfrequenz  $F_0$ , (2) Phasenschieber zum Laufzeitausgleich, (3) Pulserzeuger, (4) Synchronsignal-Sender, (5) Nachrichten-Empfänger, (6) und (7) Steuereinrichtungen für die (8) Pulswandler, (9) Tiefpässe, (10) Synchronsignal-Empfänger, (11) Zähl-einrichtung, (12) Torschaltung, (13) Pulsmodulator, (14) Nachrichten-Sender

Übertragungsentfernung (Synchronzeichensender-Übertragungsort-zentrale Empfangsstelle) im Kanal  $k$  um den Betrag  $2 \Delta s$  größer als im kürzesten Übertragungskanal der Anlage, so folgt der  $k$ -te Synchronpuls eines Taktes nicht erst nach der Zeit  $k \cdot \frac{T_0}{n}$  auf den markierten Anfangspuls dieses Taktes, sondern schon nach der Zeit  $k \cdot \frac{T_0}{n} - \frac{2 \Delta s}{c}$ . Das Blockschaltbild einer Anlage mit dieser Synchronisationsart zeigt Abb. 4.

2.6 In den vorstehenden Abschnitten wurden die Möglichkeiten aufgezählt. Pulse zum Abtasten der Nachrichten an den einzelnen Übertragungsorten zu den vom Übertragungssystem geforderten Zeitpunkten zu erzeugen. Die so der einzelnen Nachricht entnommenen Proben werden — meist

nach einer geeigneten Umwandlung — zur Modulation des HF-Senders benutzt. Die wichtigsten Arten der Modulation sind Pulsamplituden-(PAM), Pulsdauer-(PDM), Pulsphasen-(PPM) und Pulsmodulation (PCM) (Lit. 4).

Bei der PAM werden die der Nachricht entnommenen Proben direkt zur Modulation des HF-Senders benutzt. Es werden hochfrequente Pulse konstanter Dauer ausgesendet, deren Amplituden den Momentanwerten der Nachricht in den Abtastaugenblicken proportional sind. Empfangsseitig wird nach Gleichrichtung der hochfrequenten Trägerschwingung die ursprüngliche Nachricht dadurch wieder gewonnen, daß aus den Pulsen alle Frequenzanteile oberhalb der oberen Grenzfrequenz der Nachricht  $f_0$  durch eine Tiefpaß unterdrückt werden. Wegen ihres schlechten Signal-Geräusch-Abstandes wird die PAM kaum noch angewendet (Lit. 5). Aus ihr werden aber meist die Pulsdauer-(PDM) und Pulsphasenmodulation abgeleitet. Die PDM verwendet Pulse konstanter Amplitude, deren Dauer der Amplitude der entnommenen Proben entspricht. Dabei kann die Modulation sowohl auf eine als auch beide Flanken der einzelnen Pulse wirken. Die Rückwandlung der PDM geschieht wie bei der PAM durch absieben der Frequenzanteile oberhalb  $f_0$ . Stellt man sich eine PDM vor, bei der z. B. nur die Rückflanken der Pulse moduliert sind und die Vorderflanken den konstanten Abstand  $T_0$  voneinander haben, so genügt es offenbar, die zeitliche Lage der Rückflanke durch einen kurzen Puls zu übertragen. Dieses Verfahren wird als Pulsphasenmodulation (PPM) bezeichnet. Auf der Empfangsseite wird die PPM durch Zusetzen von Pulsen der Frequenz  $F_0$  zunächst im PDM verwandelt, aus der dann die Nachricht wie beschrieben wiedergewonnen wird. Den drei bisher genannten Modulationsverfahren war die Eigenschaft gemeinsam, daß sie eine unendlich große Anzahl von Amplitudenstufen der Nachricht zu übertragen gestatten. Quantisiert man die Nachricht z. B. durch Bildung von  $q$  Amplitudenstufen, so genügt es, die Zahl 1, 2, 3 ...  $q$  der zum Abtastzeitpunkt jeweils festgestellten Amplitudenstufe zu übertragen. Diese Zahlen werden für die Übertragung in einen aus Pulsen bestehenden Code verwandelt. Aus diesem Grunde wird das Verfahren als Pulsmodulation (PCM) bezeichnet. Die Anzahl  $r$  der für die Übermittlung der  $q$  Amplitudenstufen mindestens erforderlichen Pulse ergibt sich zu  $r = \lceil \log_2 q \rceil$ . Empfangsseitig wird durch einen Decoder die betreffende Amplitudenstufe bestimmt und ein entsprechendes elektrisches Signal erzeugt.

Wie schon erwähnt, ist die PAM für die drahtlose Übertragung praktisch bedeutungslos. Auch die PDM wird wegen ihrer unterschiedlichen Pulslänge und der dadurch bedingten schlechten Ausnutzung der HF-Sender sowie wegen des gegenüber der PPM schlechteren Signal-Geräusch-Abstandes kaum angewendet, so daß für die drahtlosen Übertragungsstrecken PPM und PCM am häufigsten benutzt werden. Der Vorteil der Pulsphasenmodulation gegenüber der Pulsmodulation liegt in der kleineren benötigten Bandbreite des hochfrequenten Übertragungsweges und im geringeren Aufwand für Modulations- und Demodulationseinrichtungen. Als Vorteil der PCM ist die außerordentliche Unempfindlichkeit gegen Störungen auf dem Übertragungsweg zu nennen.



Neben den erwähnten Einrichtungen zur Rückwandlung der ursprünglichen Nachricht aus der verwendeten Pulsmodulationsart ist am zentralen Empfangsort für eine Aufteilung der einzelnen Nachrichtenkanäle zu sorgen. Eine elektronische Schalteinrichtung sortiert zu diesem Zweck die am Ausgang des gemeinsamen Empfängers vorhandenen Pulse aller Kanäle so, daß die von derselben Nachrichtenquelle stammenden Pulse zusammengefaßt und jeweils einem Demodulator zugeführt werden. Da zur Steuerung dieses Schalters die Taktfrequenz  $F_0$  benötigt wird, ist es zweckmäßig, in der zentralen Empfangsstelle auch die Einrichtungen zur Erzeugung und Ausstrahlung des Synchronsignals unterzubringen und beides von einem Generator für die Frequenz  $F_0$  zu speisen.

- 2.7 Nach Kenntnis der Prinzipien der in Frage kommenden Modulationsarten sowie der empfangsseitigen Kanalaufteilung und Demodulation ist es möglich, Gesichtspunkte zur Auswahl eines Synchronisationsverfahren und zur zweckmäßigen Kombination von Synchronisations- und Modulationszu nennen.

Das sinusförmige Synchronsignal erfordert eine geringe Bandbreite und ist, wenn das hochfrequent übertragene Signal nur zur Phasensynchronisation eines Oszillators am Übertragungsort benutzt wird, von Störungen des Übertragungsweges außerordentlich unabhängig. Diese Störfreiheit ist durch eine entsprechende Trägheit des Frequenz-Regelkreises erreicht worden, die den Oszillator an schnellen Frequenzänderungen hindert. Obwohl hierdurch eine Abtastung der Nachricht zu äquidistanten Zeitpunkten und somit eine störfreie Modulation erreicht wird, können bei Anwendung der Pulsphasenmodulation Störungen auftreten, die von unerwünschten Frequenzänderungen des Taktfrequenz-Generators verursacht werden. Sie entstehen bei der empfangsseitigen Umwandlung von PPM in PDM durch das Zufügen von Pulsen, die aus der Frequenz des Taktgenerators abgeleitet sind. Diese Störungen verschwinden fast völlig, wenn pulsförmige Synchronsignale verwendet werden und somit Abtastpuls am Übertragungsort und Zusatzpuls im empfangsseitigen Modulationswandler gleichartig durch etwaige Frequenzschwankungen des Taktgenerators (stör-) moduliert sind. Allerdings sind pulsförmige Synchronsignale auf dem hochfrequenten Übertragungswege nur dann gegen Störungen unempfindlich, wenn mit Pulsen möglichst großer Flankensteilheit, d. h. mit großer Übertragungsbandbreite gearbeitet wird.

Bei der Planung eines drahtlosen Übertragungssystems wird man zunächst eine Auswahl des Modulationsverfahrens treffen, das allein durch die gewünschten Eigenschaften der Anlage bestimmt wird. Fällt die Entscheidung auf die Pulsphasenmodulation, so ist es zweckmäßig, ein pulsförmiges Synchronsignal zu verwenden. Die Möglichkeit, Laufzeitunterschiede zu den einzelnen Übertragungsorten von der Empfangsstelle auszugleichen, sollte besonders bei mobilen Anlagen durch ein Synchronsignal mit der Pulsfrequenz  $n \cdot F_0$  ausgenutzt werden. Bei der Wahl einer anderen Modulationsart, vorzugsweise der PCM, spielen dagegen andere Gesichtspunkte, wie die benötigte Bandbreite für den Synchronkanal und der Aufwand in den Geräten an den Übertragungsorten eine Rolle.

### 3. Versuchsanlage

Zum Studium der technischen Lösungsmöglichkeiten der Aufgabenstellung wurde eine Versuchsanlage benutzt, die in ihren Übertragungseigenschaften für die Übermittlung seismischer Meßwerte ausgelegt war. Die höchste mit ihr zu übertragende Signalfrequenz betrug 250 Hz, d. h. die Taktfrequenz war  $F_0 = 500$  Hz.

Die Anlage bestand aus einer zentralen Empfangsstelle, die außerdem einen Impulsgenerator und einen Sender zum Ausstrahlen des Synchronsignals enthielt und tragbaren, batteriegespeisten Geräten für die Übertragungsstellen. Die Anlage wurde für den Betrieb von 20 Kanälen geplant, so daß pro Kanal 100  $\mu$ s zur Verfügung standen. Bei der verwendeten Pulsphasenmodulation ergab das nach Abzug eines zeitlichen Sicherheitsabstandes zwischen den Kanälen einen maximal zulässigen Phasenhub von  $\pm 40 \mu$ s. Zur Übertragung des Synchronsignals wurden neben den vorstehend beschriebenen Verfahren noch eine Reihe anderer Möglichkeiten untersucht, die jedoch entweder von Prinzip her ungeeignet waren oder schaltungstechnische Varianten der genannten Verfahren darstellten. Die hier später aufgeführten Meßwerte beziehen sich auf ein System, bei dem ein pulsförmiges Synchronsignal mit der Frequenz  $F_0$  benutzt wurde. Für die drahtlose Übertragung der Nachrichtenkanäle und des Synchronsignals wurden je eine Frequenz im Bereich zwischen 30 und 50 MHz verwendet. Die Sendeleistungen für die tragbaren Geräte betrug 10 W Pulsspitzenleistung. Für das Synchronsignal wurde mit Rücksicht auf einen geringen Aufwand in den Synchronzeichen-Empfängern der tragbaren Geräte mit einem Sender von 100 W Spitzenleistung gearbeitet. Beide hochfrequenten Übertragungswege hatten eine Bandbreite von 200 kHz.

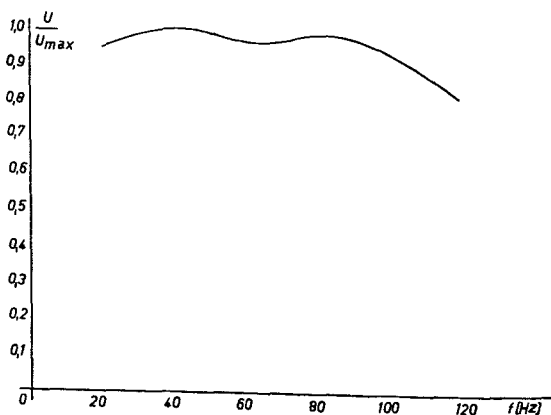


Abb. 5. Frequenzgang der Versuchsanlage

Über die gesamte Übertragungsanlage hinweg ergaben sich die in den Abb. 5 und 6 dargestellten Abhängigkeiten der Signalamplitude und -phase von der zu übertragenden Signalfrequenz.

Das Störgeräusch der Kanäle lag mindestens 50 db unter der maximalen Nutzamplitude.

Als Nebensprechdämpfung wurden zwischen zwei beliebigen Kanälen Werte größer als 55 db gemessen.

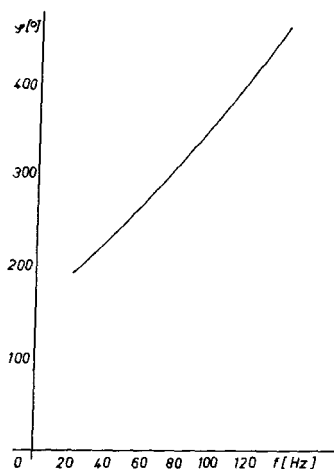


Abb. 6. Phasengang der Versuchsanlage

#### 4. Zusammenfassung

Zur Übertragung von Nachrichten verschiedener, räumlich einander entfernter Punkte zu einem zentralen Ort, werden in großer Zahl drahtgebundene Übertragungssysteme benutzt. Die dafür erforderlichen Leitungsnetze bedingen einen erheblichen finanziellen Aufwand, so daß mit verschiedenen Verfahren die Mehrfachausnutzung der Leitungen versucht wird. Von Nachteil ist bei diesen Lösungen, daß die Nachrichten der einzelnen Orte nacheinander, also weder gleichzeitig noch dauernd, übertragen werden. Einige in der Fernwirktechnik eingeführte Übertragungssysteme bevorzugen zwar einige spezielle Nachrichten, wie z. B. Störungsmeldungen, durch die Unterbrechung der laufenden Übermittlung. Doch auch diese Systeme sind nicht in der Lage, mehrere bevorzugte Nachrichten gleichzeitig zu übermitteln.

Das beschriebene drahtlose Übertragungssystem vermeidet diese Nachteile durch Anwendung des Zeitmultiplex-Prinzips. Die an den Übertragungsorten vorhandenen Hochfrequenz-Sender arbeiten alle auf einer Frequenz. Eine weitere Trägerfrequenz wird u. U. zur zeitlichen Einordnung der einzelnen Übertragungskanäle benötigt.

Ein besonderes Anwendungsgebiet für das beschriebene Verfahren stellen die ortsveränderlichen Übertragungsanlagen dar. Die hier auftretende Schwierigkeit, an jedem Gerät die durch verschieden lange Übertragungswege bedingten Laufzeitunterschiede durch eine besondere Einstellung auszugleichen, kann durch Anwendung pulsformiger Synchronsignale mit der Folgefrequenz

$n \cdot F_0$  vermieden werden. Bei dieser Synchronisationsart werden in der Empfangsstelle die Laufzeitunterschiede durch Phasenschieber (Nr. 2 in Abb. 4) ausgeglichen.

Messungen an einer Versuchsanlage ergaben Übertragungseigenschaften, die für viele der angedeuteten Einsatzmöglichkeiten bereits ausreichend sein dürften. Einer speziellen Aufgabenstellung lassen sich diese Übertragungseigenschaften in weiten Grenzen entsprechend anpassen.

### Literatur

- [1] *Shannon*: Proc. of the Inst. of Radio Eng. New York 37 (1949) S. 10—21.
- 2] *Schlegel-Nowak*: Impulstechnik. Fachbuchverlag Schütz, 1955.
- [3] *H. Härtel* und *F. Rumpel*: FTZ 7. (1954) S. 118.
- 4] *Hölzler* und *Holzwarth*: Theorie und Technik der Pulsmodulation. Springer-Verlag 1957.